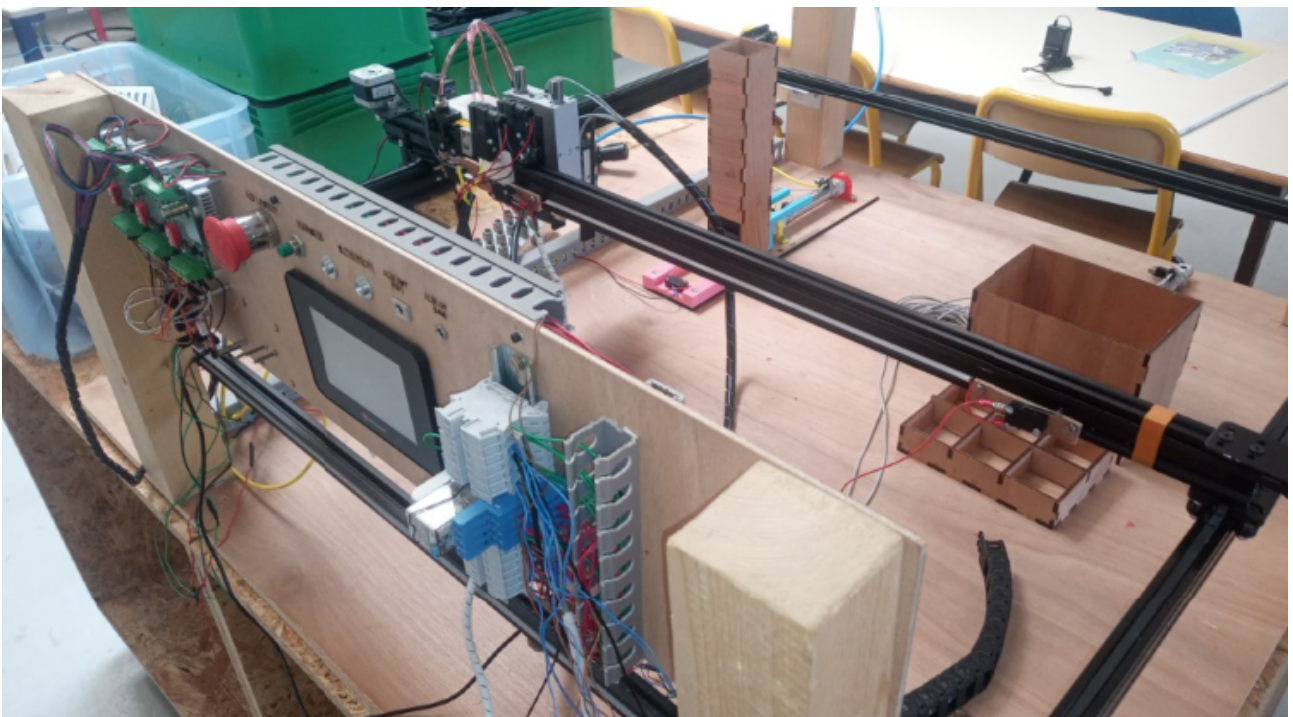


Rapport du Projet Pick&Place

Douae Choubri – Salma Letrach – Souad Ait Bellauali – Reda El Madani

Décembre 2025



Contents

1	Bilan de départ	4
	Contexte du projet	4
	Historique des versions précédentes	4
	Résumé des versions précédentes	5
	Observations générales	5
2	Travaux réalisés	8
	Objectifs de notre version (2025A)	8
	Travail effectué	9
	1. Partie électronique et électrique	10
	GEMMA – Guide d’Étude des Modes de Marches et d’Arrêts	10
	Élaboration de la structure hiérarchisée de la commande (Structure H)	10
	Présentation des GRAFCET du système	12
	GRAFCET G1 – Conduite générale	12
	GRAFCET G2 – Sécurité	12
	GRAFCET G3 - Initialisation	13
	GRAFCET G4 – Mode manuel	14
	GRAFCET G5 – Mode automatique	15
	GRAFCET G7 - Mode semi-automatique	15
	GRAFCET G8 – Mouvement moteurs	16
	GRAFCET G10 – Prise du flacon	17
	GRAFCET G11 - Déplacement de la pince	18
	GRAFCET G12 – Dépose du flacon	19
	2. Partie informatique et systèmes embarqués	19
	Amélioration de l’interface homme-machine	20
	Modularisation du code MSP430	20
	Nouvelle architecture logicielle	21
	Documentation de la communication automate / MSP430	22
	Correspondance IHM, Ladder et entrées/sorties	24
	Prise en main du logiciel UniLogic	24
	3. Modifications mécaniques	25
	Mise à jour dans l’assemblage global	26
3	Résultats obtenus	27
	Partie tutoriels	27
	Points importants à maîtriser	27
	Partie informatique et systèmes embarqués	28
	Résultats de l’amélioration de l’interface homme-machine	28
	Résultats de la modularisation du code MSP430	28
	Résultats de l’étude de la commande du système(GRAFCET)	29

Résultats de la conception mécanique	29
Résultats de la documentation technique	29
4 Objectifs restants et perspectives	29
Remarques finales	30
A Annexes : Documentation technique	31
A.1 Annexe1 : Architecture globale du robot	31
A.2 Annexe2 : Alimentation	32
A.3 Annexe3 : Entrées/sorties, drivers et carte	33
A.4 Annexe4 : Grafset MVT moteurs	35

1 Bilan de départ

Contexte du projet

Le projet **Robot Pick and Place** s'inscrit dans une réforme pédagogique visant à renforcer l'apprentissage par la pratique à l'ENIB. Initialement imaginé durant la pandémie de Covid-19 afin de manipuler automatiquement des flacons de vaccins sans contact, il a progressivement évolué vers un support pédagogique interdisciplinaire destiné aux étudiants de ZG4.

Ce projet vise à piloter un système automatisé à l'aide d'un **automate programmable industriel (API)**, reposant sur une logique séquentielle décrite par des **GRAFCET** et implémentée en langage **Ladder**. Il intègre également une carte microcontrôleur **MSP430**, utilisée principalement pour la commande des moteurs et la gestion de certaines communications.

Le dispositif fédère plusieurs domaines d'enseignement tels que la mécanique, l'électronique, la pneumatique, l'automatisme industriel, l'informatique embarquée, l'interface opérateur, l'éco-conception et la documentation technique. Il constitue ainsi un terrain d'apprentissage concret et réaliste, directement comparable à des systèmes industriels existants.

À l'origine conçu pour répondre à un besoin logistique — réduire les manipulations à risque lors du déplacement de flacons — le Pick&Place devient, dans un contexte pédagogique, un support permettant aux étudiants d'expérimenter concrètement les principes de l'automatisation industrielle à travers une maquette fonctionnelle et sécurisée.

Le système comprend une structure mécanique assurant les déplacements sur les axes X et Y, un vérin pneumatique pour l'axe Z, des moteurs pas-à-pas, une carte électronique de commande, un automate programmable et une interface opérateur permettant de piloter les différents modes de fonctionnement. Trois modes sont définis : manuel, semi-automatique et automatique. À ce stade, seul le mode manuel est pleinement fonctionnel, tandis que les deux autres sont en cours de développement.

L'automate programmable agit comme le cœur logique du système. Il assure la gestion des consignes, des vitesses, des temporisations, ainsi que la surveillance des capteurs et des dispositifs de sécurité.

Dans ce rapport, l'analyse porte principalement sur les éléments liés à l'automate, à l'API, au GRAFCET et au langage Ladder. La partie relative à la carte MSP430 est abordée de manière globale, sans entrer dans les détails du code embarqué.

Historique des versions précédentes

Avant notre groupe **2025A**, six versions du projet ont été développées :

1. ARCHIVES_2022A

2. **ARCHIVES_2023P**
3. **ARCHIVES_2023A**
4. **ARCHIVES_2024P**
5. **ARCHIVES_2024A**
6. **ARCHIVES_2025P**

Ces archives constituent une base importante pour comprendre l'évolution du projet et les choix techniques réalisés.

Résumé des versions précédentes

- **ARCHIVES_2022A** : Travail principalement axé sur la conception de GRAFCET à l'aide du logiciel *Editsab*. Les GRAFCET proposés ne sont pas définitifs et ont été modifiés dans les versions suivantes.
- **ARCHIVES_2023P** : Ajout de la communication USB avec la carte MSP, de premières alarmes (warnings) et de la commande de position.
- **ARCHIVES_2023A** : Introduction d'un mode manuel, non totalement finalisé.
- **ARCHIVES_2024P** : Amélioration de la communication USB/MSP, développement de la commande manuelle des moteurs et de l'IHM.
- **ARCHIVES_2024A** : Version similaire à la précédente avec l'ajout de la commande du vérin.
- **ARCHIVES_2025P** : Travail principalement concentré sur la communication côté MSP. Cette version est plus fiable si l'on souhaite dépendre majoritairement de la carte MSP.

Observations générales

Chaque version du projet **Robot Pick and Place** s'inscrit dans une logique d'amélioration continue, certaines évolutions introduisant des modifications structurelles importantes. Il est donc nécessaire de consulter attentivement les rapports associés aux versions précédentes afin de bien comprendre les choix techniques effectués et les différences entre les itérations.

Avant notre intervention, plusieurs éléments avaient déjà été partiellement mis en place, constituant ainsi un premier socle fonctionnel du projet. Le câblage des entrées et sorties de l'installation avait été réalisé, permettant une communication de base entre les différents composants. Toutefois, ce câblage n'était pas documenté de manière explicite vis-à-vis de son lien avec l'interface homme-machine.

Une interface de commande manuelle des moteurs était également disponible. Celle-ci incluait une section d'affichage de la position courante des axes, cependant cette information restait statique et ne reflétait pas l'état réel du système en fonctionnement.

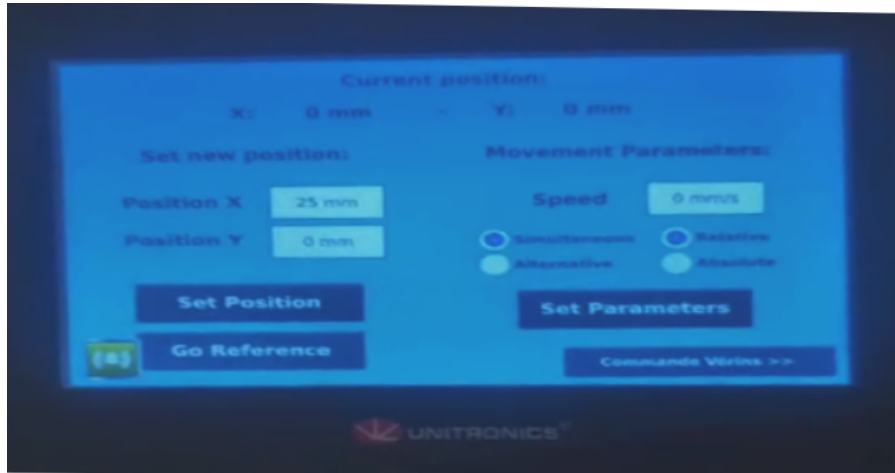


Figure 1: Interface homme-machine existante avant intervention

Le dernier code développé pour la carte **MSP430** permettait la commande des moteurs, mais il n'était ni modularisé ni testé ou validé en lien avec l'IHM. De plus, aucune documentation claire ne décrivait les échanges entre le code MSP et l'automate programmable.

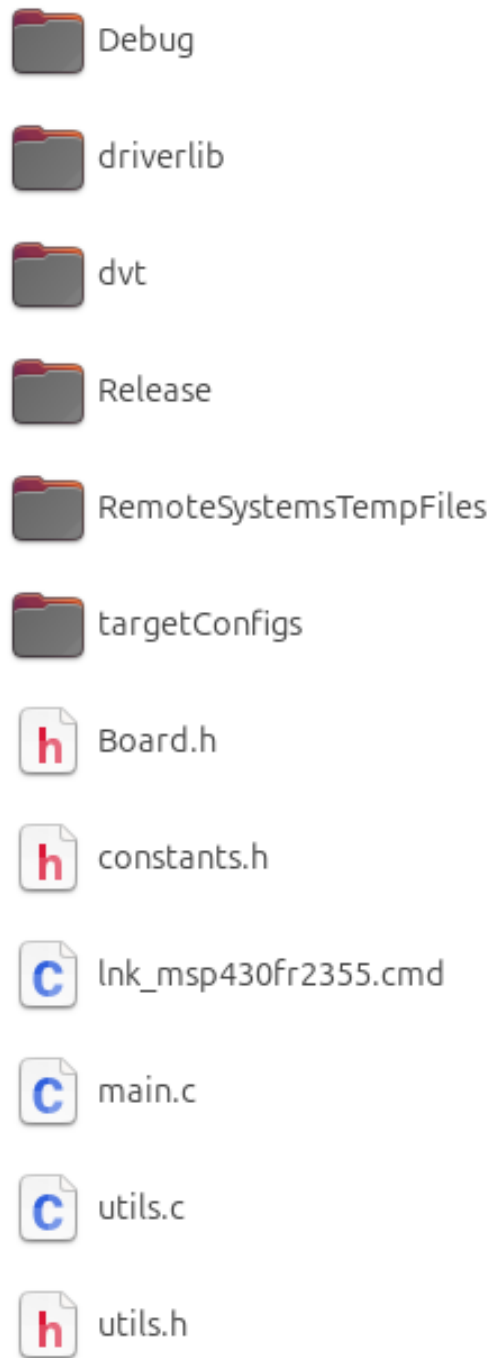


Figure 2: Architecture du code avant intervention

Sur le plan mécanique, l'état initial du système présentait également certaines limites. Bien que le vérin pneumatique soit déjà câblé et fonctionnel d'un point de vue électrique, aucun support mécanique dédié n'était prévu pour assurer son maintien et son positionnement correct dans l'assemblage global.

Le vérin et son boîtier étaient ainsi intégrés de manière provisoire, sans solution de fixation robuste ni guidage mécanique adapté. Cette configuration ne permettait pas de garantir la stabilité de l'ensemble, ni la répétabilité des mouvements lors des cycles de fonctionnement, et rendait l'évolution mécanique du système plus complexe.



Figure 3: État initial du système : absence de support mécanique dédié pour le vérin

Enfin, l'architecture existante reposait majoritairement sur la carte microcontrôleur : les capteurs de position des moteurs étaient reliés à la MSP, et la commande ainsi que la logique de fonctionnement des moteurs y étaient principalement implémentées. Cette organisation technique, fonctionnelle en l'état, rendait toutefois la compréhension globale du système plus complexe. Les travaux menés par la suite n'ont pas porté sur la modification des fonctions de la MSP, mais se sont concentrés sur la modularisation du code existant et sur l'amélioration de la documentation, afin de faciliter l'analyse, la maintenance et la prise en main du projet.

2 Travaux réalisés

Objectifs de notre version (2025A)

Le professeur nous a demandé de bien comprendre le travail réalisé dans les versions précédentes, et plus particulièrement les fonctions implémentées dans la MSP, dans le but de les migrer progressivement vers l'automate.

L'objectif final est que :

- l'automate pilote l'ensemble du système ;

- la MSP n'assure que le strict minimum nécessaire.

Cependant, de nombreuses difficultés ont été rencontrées, notamment liées à :

- la compréhension globale du système ;
- la prise en main des différents logiciels (UniLogic, outils MSP, etc.) ;
- la lecture et l'analyse du code existant.

Face à ces difficultés, nous avons décidé de concentrer nos efforts sur une **documentation claire et pédagogique**.

Travail effectué

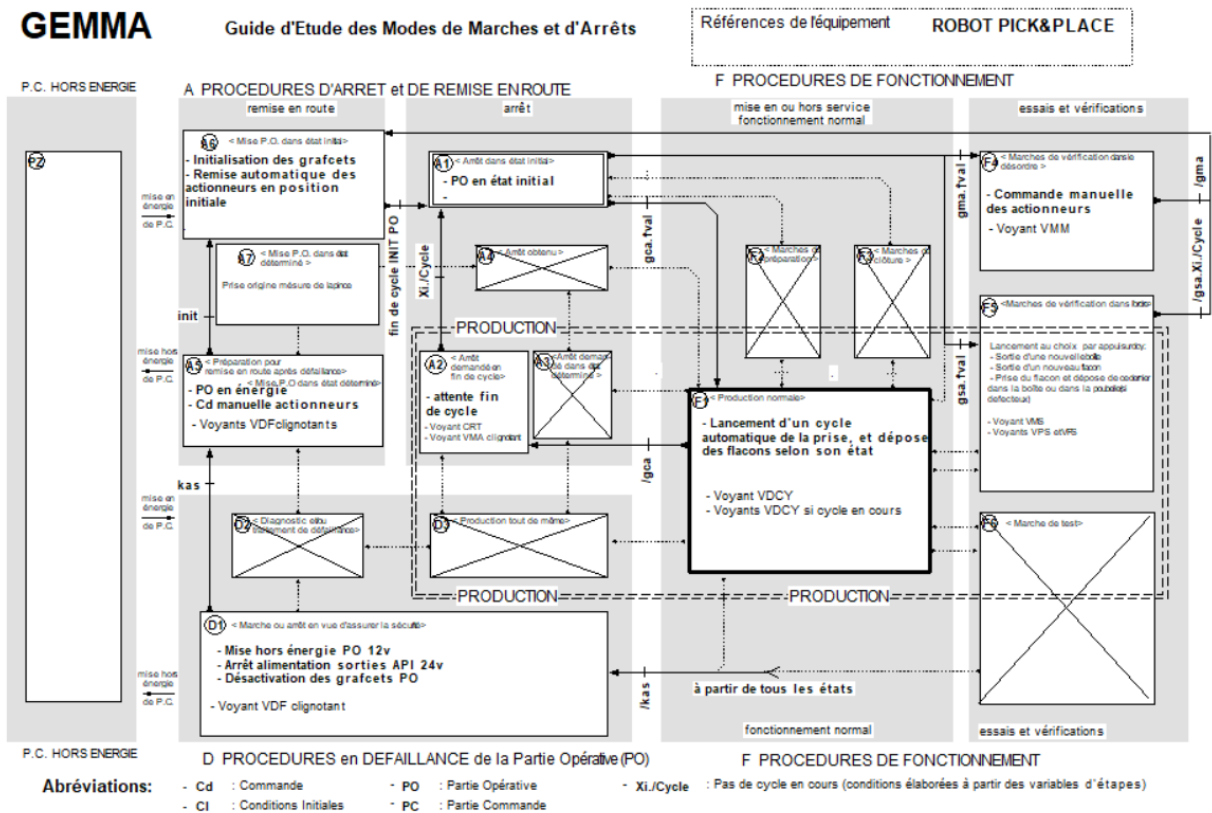
Dans ce contexte, nous avons réalisé les actions suivantes :

- Regroupement et préparation de plusieurs tutoriels pour faciliter la prise en main de l'automate, du GRAFCET et du Ladder ;
- Formalisation de l'étude GEMMA
- Réalisation et amélioration des GRAFCETs de fonctionnement
- Définition de la structure hiérarchisée de la partie commande (Structure H)
- Rédaction d'un tutoriel détaillé sur l'utilisation du Ladder et du logiciel UniLogic.
- Modification de la conception mécanique (plaque et réservoir) afin de remplacer la fixation par collage par une fixation mécanique plus fiable.

Une section dédiée aux GRAFCET du système est prévue dans ce rapport. Elle sera complétée et poursuivie par nos collègues afin d'assurer la continuité du projet.

1. Partie électronique et électrique

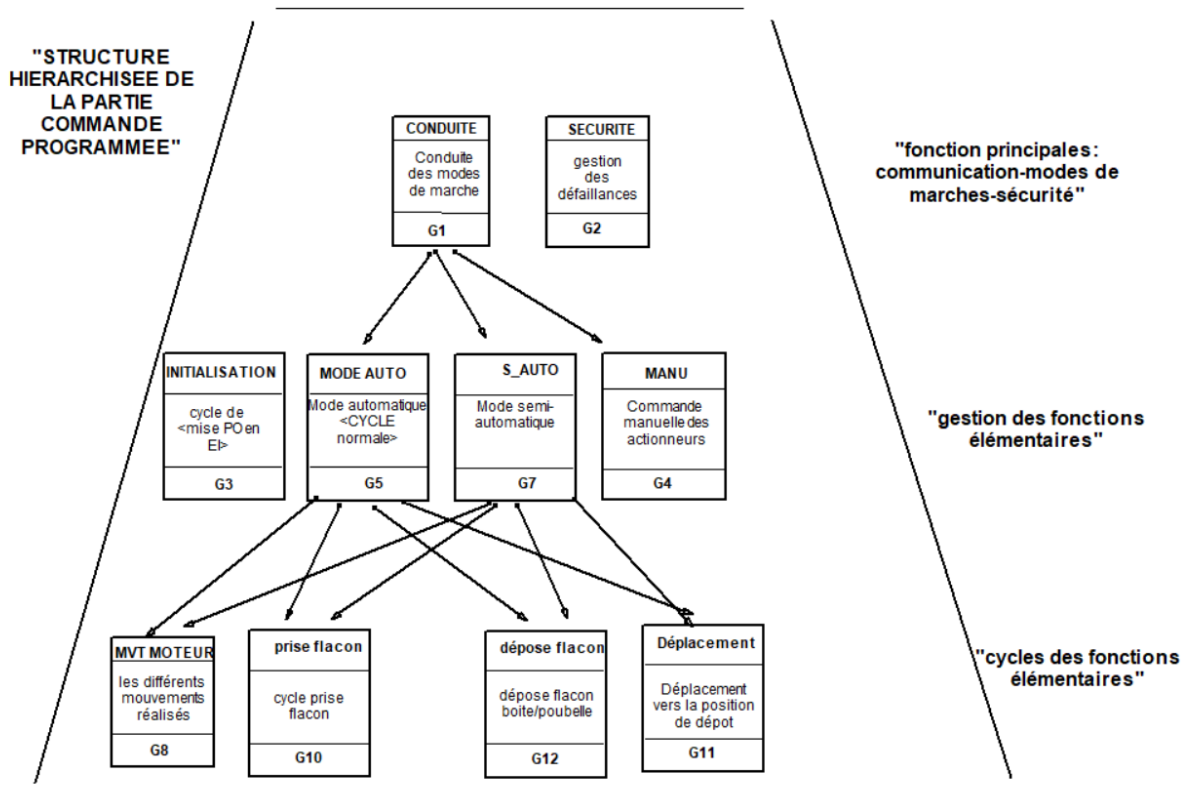
GEMMA – Guide d’Étude des Modes de Marches et d’Arrêts



Le GEMMA permet de structurer l'ensemble des modes de marche et d'arrêt du système Pick and Place. Il met en évidence les états hors énergie, les procédures de remise en route et les phases d'arrêt. Le fonctionnement normal en production est clairement identifié, ainsi que le mode manuel destiné aux essais et à la maintenance. Le GEMMA intègre également la gestion des situations de défaut afin de garantir la sécurité globale du système.

Élaboration de la structure hiérarchisée de la commande (Structure H)

Une structure hiérarchisée de la partie commande programmée a été définie afin d'organiser le fonctionnement du système selon plusieurs niveaux fonctionnels. Cette organisation permet de séparer la gestion globale du système, les modes de fonctionnement et les fonctions opérationnelles, facilitant ainsi la compréhension, la maintenance et l'évolution future de la commande

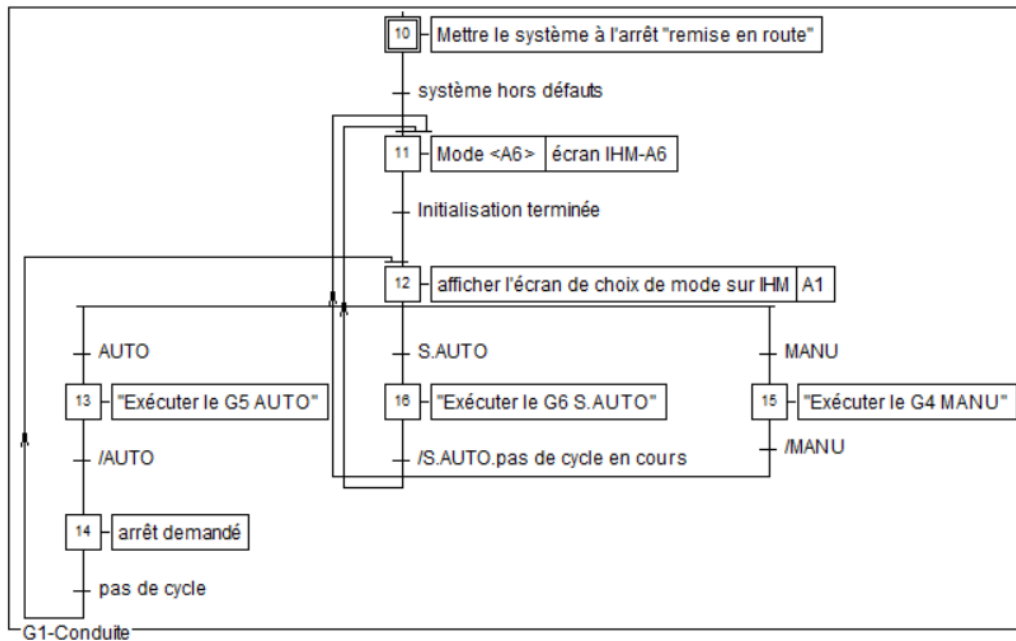


- **Niveau supérieur – Conduite et sécurité** : gestion des modes de marche (G1) et de la sécurité du système (G2).
- **Niveau intermédiaire – Modes de fonctionnement** : initialisation (G3), mode automatique (G5), mode semi-automatique (G6) et mode manuel (G4).
- **Niveau élémentaire – Fonctions opérationnelles** : mouvement des moteurs (G8), prise du flacon (G10), dépose du flacon (G12) et déplacements (G11).

Cette structure hiérarchisée permet une décomposition claire et logique des fonctions, facilitant la conception des GRAFCETs et la future programmation de l'automate.

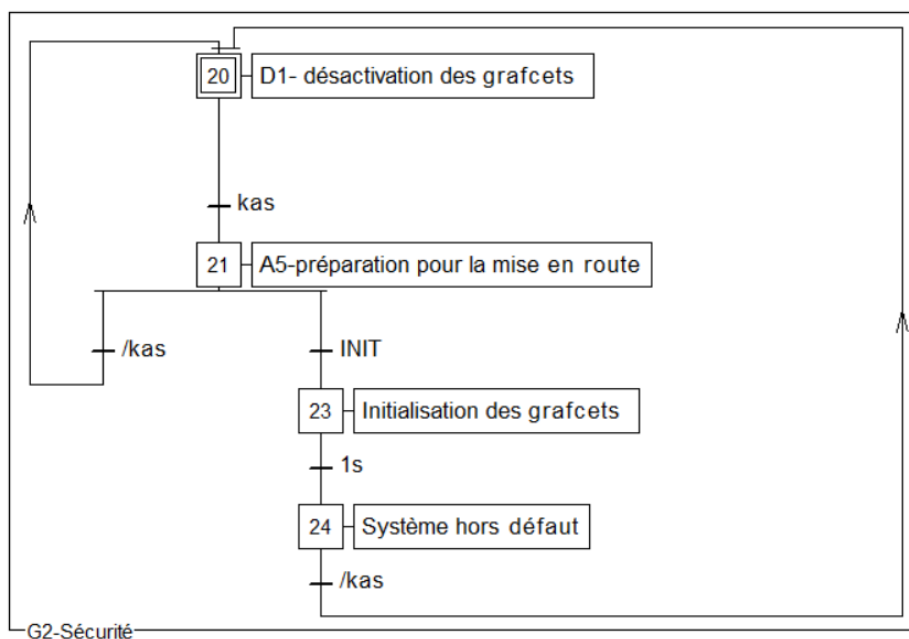
Présentation des GRAFCET du système

GRAFCET G1 – Conduite générale



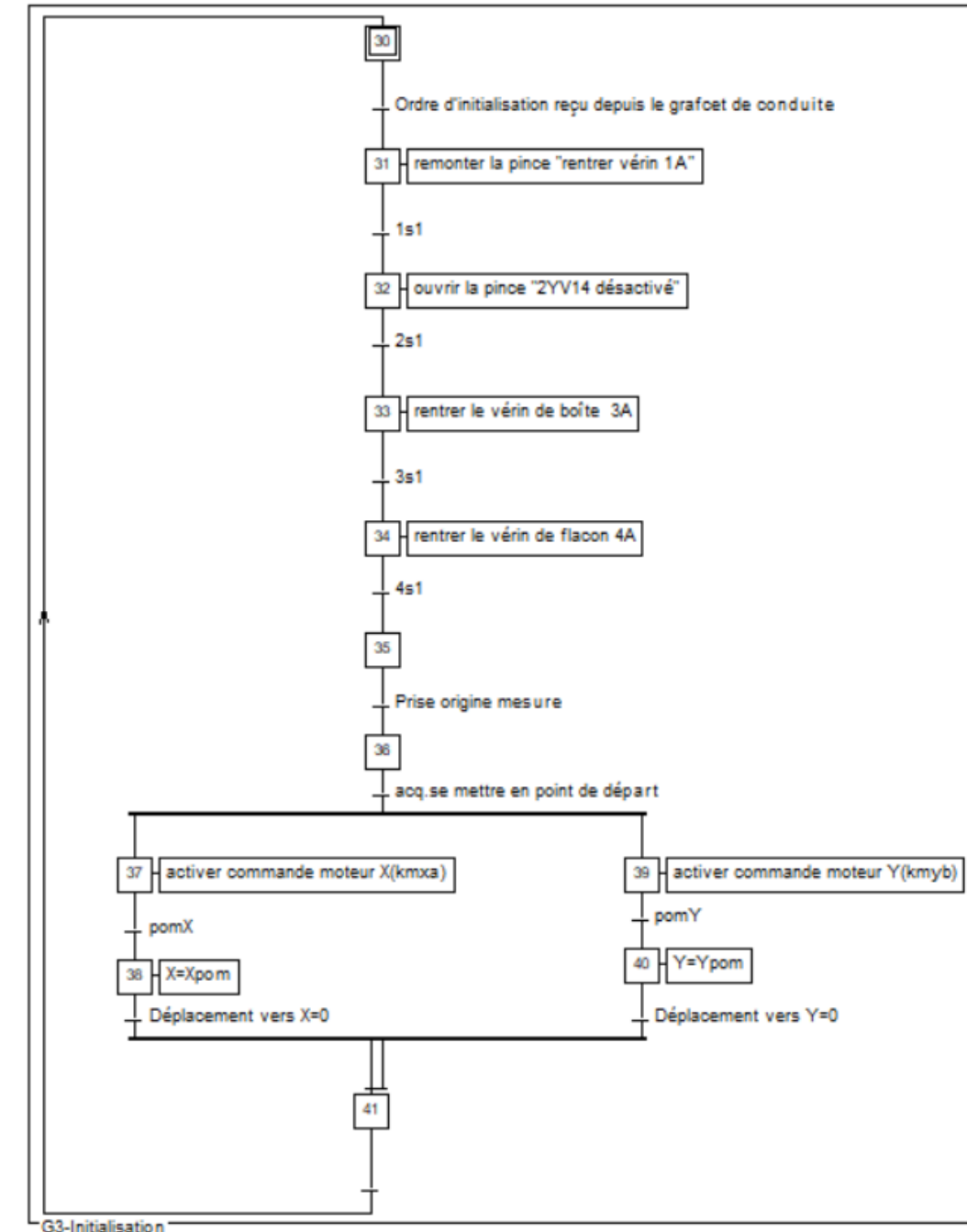
Ce Grafcet gère la conduite globale du système et le choix du mode de fonctionnement. Après la remise en route et l'initialisation, il permet à l'opérateur de sélectionner le mode AUTO, S.AUTO ou MANU via l'IHM. En fonction du mode choisi, le Grafcet correspondant est exécuté, tout en assurant la gestion des arrêts et de la sécurité.

GRAFCET G2 – Sécurité



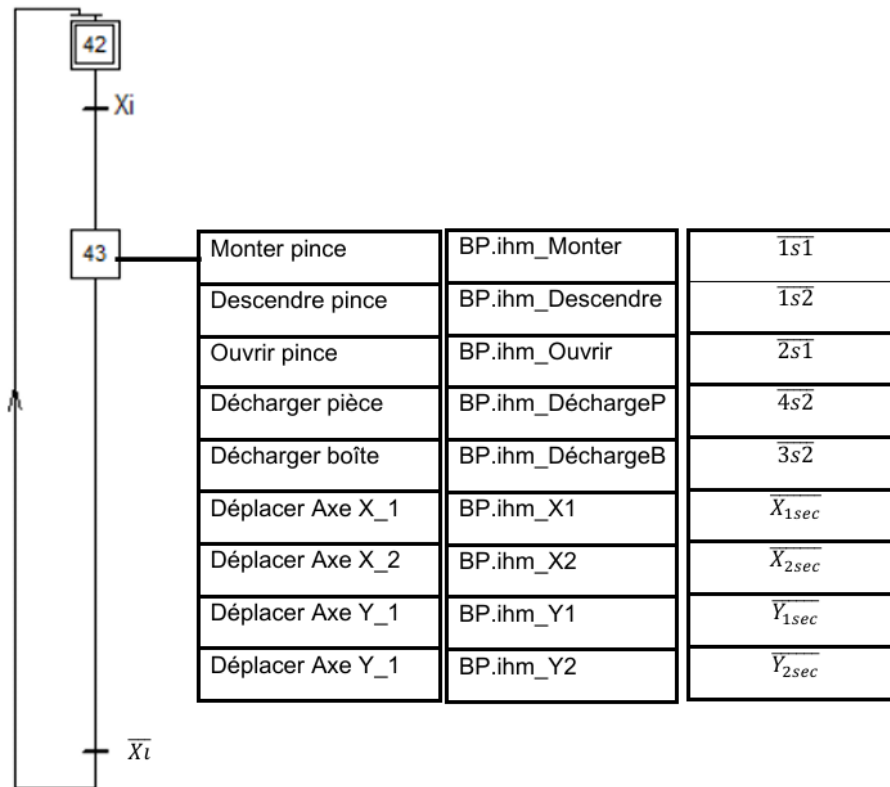
Ce Grafcet assure la gestion de la sécurité globale du système. Il permet la mise à l'arrêt de l'ensemble des Grafcets en cas de défaut ou d'arrêt demandé. Après validation des conditions de sécurité, il autorise l'initialisation et la remise en fonctionnement du système. Il garantit que le système ne fonctionne que dans un état sûr.

GRAF CET G3 - Initialisation



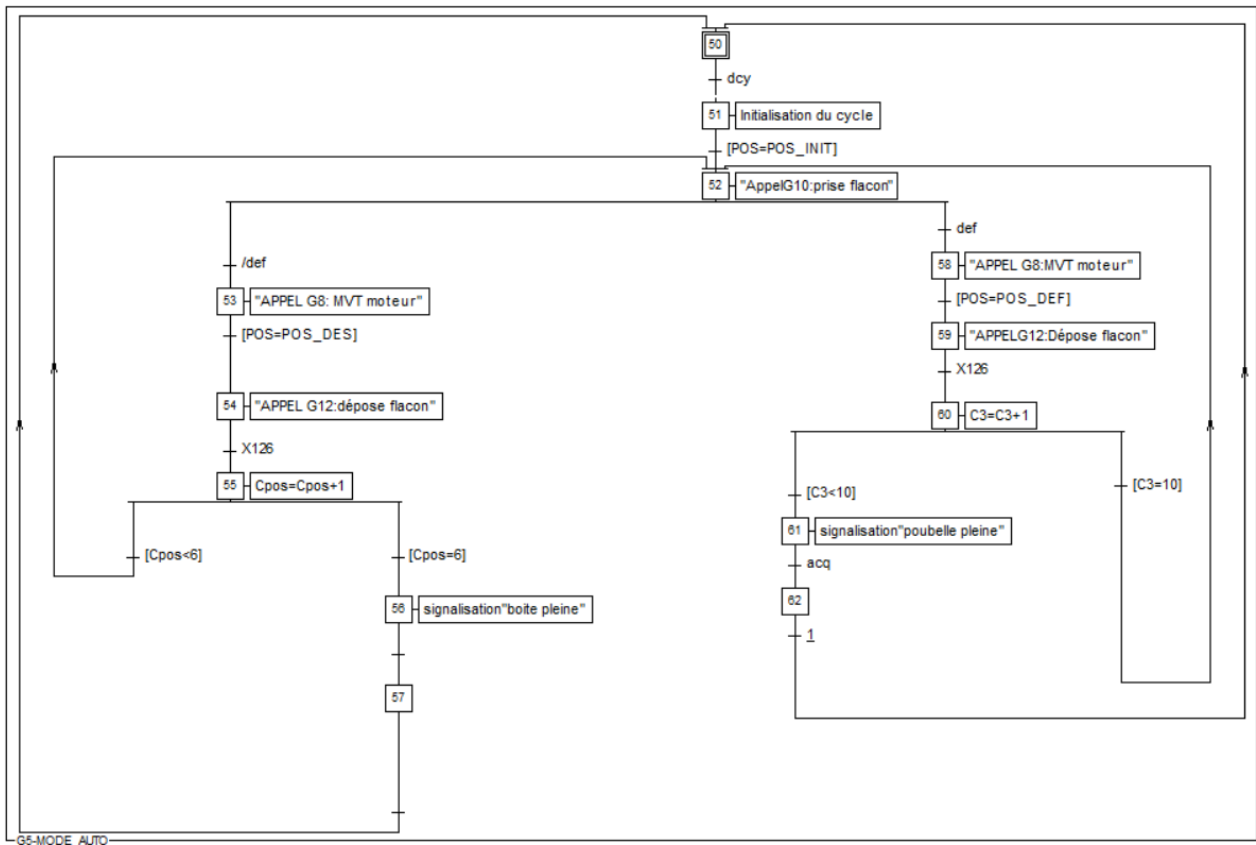
Le grafcet d'initialisation met le système dans un état de référence. Il permet le repositionnement des actionneurs (pince, vérins, axes X et Y) vers leurs positions d'origine, avec ouverture de la pince et retour mécanique sécurisé.

GRAF CET G4 – Mode manuel



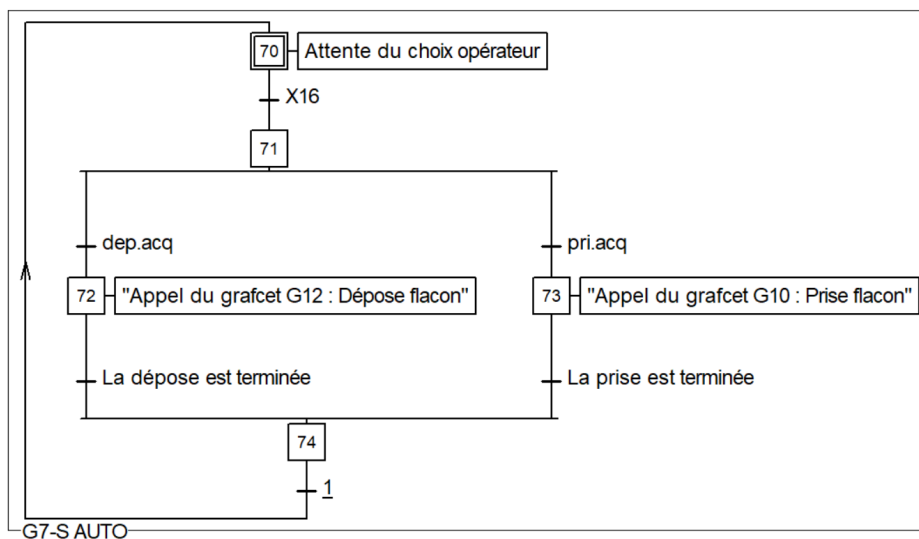
Ce Grafcet permet la commande manuelle des actionneurs via l'IHM. Il autorise l'opérateur à piloter directement la pince et les axes de déplacement. Les actions sont conditionnées et limitées afin d'assurer la sécurité. Ce mode est utilisé pour les phases d'essais, de réglage et de maintenance.

GRAF CET G5 – Mode automatique



Ce Grafcet gère le fonctionnement automatique du robot Pick and Place. Après l'initialisation, il orchestre le cycle complet en appelant les Grafcets de prise, de mouvement et de dépose. Il intègre le comptage des flacons ainsi que la gestion des boîtes et poubelles pleines. Il assure la coordination globale du cycle automatique.

GRAF CET G7 - Mode semi-automatique



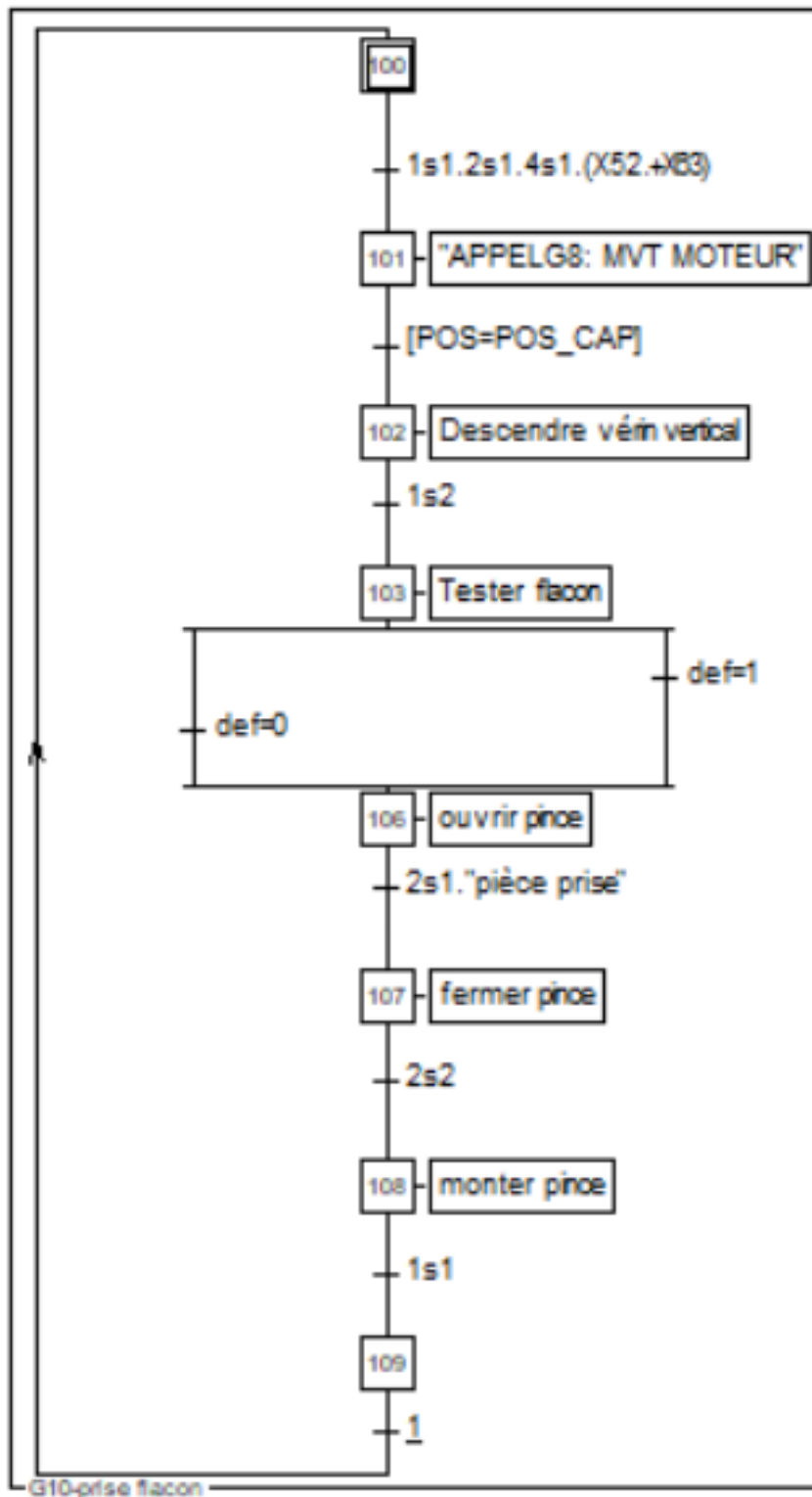
Le mode semi-automatique est assuré par le GRAFCET G7 en fonction du choix effectué par l'opérateur. Après validation, le système réalise soit une prise de flacon, soit une dépose de flacon, par l'appel des GRAFCET associés (G10 ou G12). Le cycle s'achève automatiquement à la fin de l'action sélectionnée.

GRAFCET G8 – Mouvement moteurs

Le Grafcet G8 ((voir annexe A.4)) gère le déplacement du système entre les différentes positions prédéfinies.

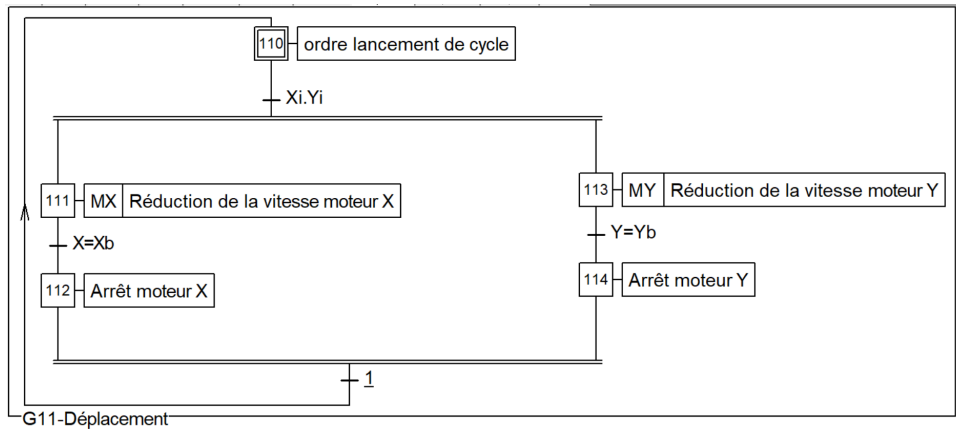
- Il commande les moteurs afin de positionner la pince selon les positions suivantes :
 - **POS_INIT** : position initiale du système
 - **POS_CAP** : position de capture, pince située au-dessus du flacon
 - **POS_DES** : position de dépose, pince située au-dessus de la boîte
 - **POS_DEF** : position de défaut, correspondant à la poubelle
- Aucune action de prise ou de dépose n'est autorisée tant que la position demandée n'est pas confirmée.

GRAF CET G10 – Prise du flacon



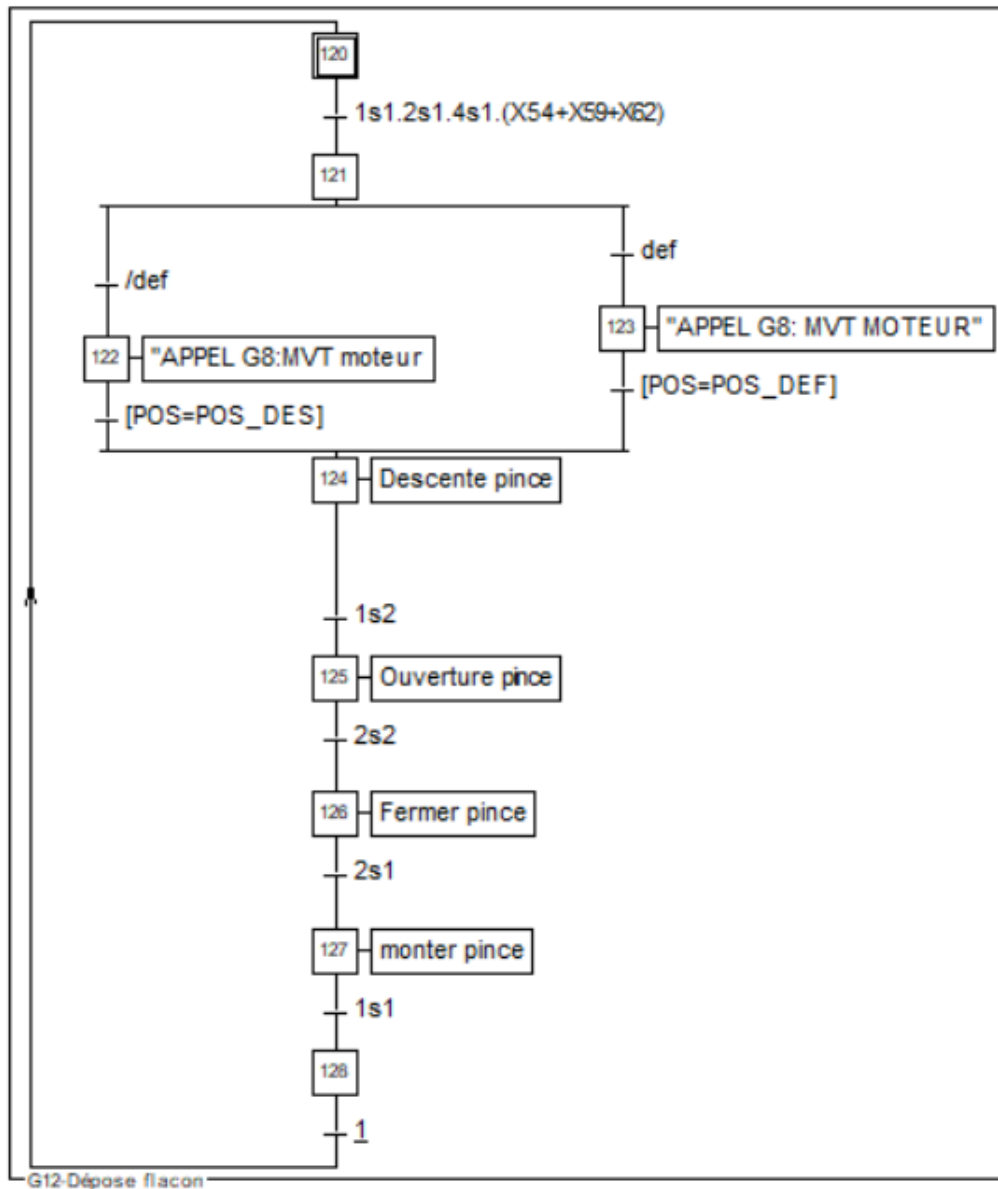
Ce Grafcet décrit la séquence de prise d'un flacon. Il assure le positionnement de la pince, sa descente et le test de présence de la pièce. La pince est ensuite commandée pour saisir le flacon avant la remontée. La prise n'est validée que si la présence du flacon est confirmée.

GRAFSET G11 - Déplacement de la pince



Le déplacement de la pince sur les axes X et Y est assuré de manière synchronisée par le GRAFCET G11. Après l'ordre de lancement, les deux moteurs sont commandés en parallèle avec une réduction de vitesse à l'approche des positions finales. Chaque moteur est arrêté indépendamment lorsque la position cible est atteinte, garantissant un positionnement précis de la pince.

GRAFCEET G12 – Dépose du flacon



Ce Grafcet gère la dépose du flacon dans la zone prévue. Il commande le déplacement, la descente et l'ouverture de la pince. Après la libération du flacon, la pince est refermée et remontée. Il garantit une dépose maîtrisée et répétable.

2. Partie informatique et systèmes embarqués

Les travaux réalisés du côté informatique et systèmes embarqués ont porté sur trois axes principaux : la vérification/petite correction de l'interface homme-machine (IHM), la modularisation du code embarqué sur la carte MSP430, ainsi que la documentation des échanges entre l'automate Unitronics et le microcontrôleur.

Amélioration de l'interface homme-machine

Une anomalie a été identifiée dans l'IHM au niveau de la section *Current Position*. Les valeurs affichées pour les positions X et Y ne se mettaient pas à jour après modification des positions via la section *Set New Position*.

Cette incohérence provenait du fait que les variables utilisées pour l'affichage de la position courante n'étaient pas correctement reliées aux variables définies dans le programme. La correction a consisté à associer les champs *Current Position X* et *Current Position Y* aux variables *New Position X* et *New Position Y*, déjà correctement définies dans l'IHM.

Après cette modification, les valeurs affichées se mettent désormais à jour correctement et de manière simultanée lors de toute interaction utilisateur avec l'interface.

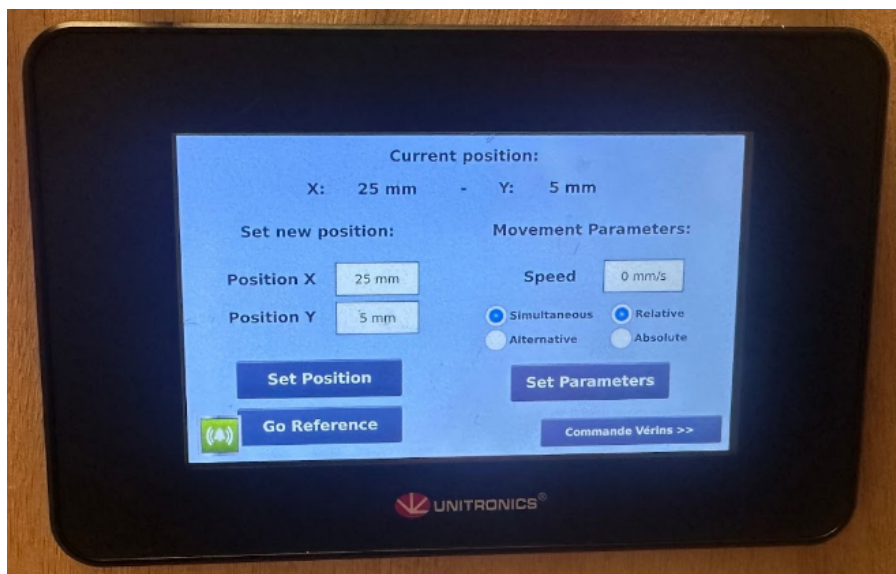


Figure 4: Interface homme-machine existante après intervention

Modularisation du code MSP430

Avant intervention, l'intégralité du programme embarqué était regroupée dans un unique fichier `main.c`, comprenant la gestion des moteurs, la communication UART, les interruptions, les conversions mécaniques et la configuration des entrées/sorties. Ce fichier atteignait près de 498 pages, rendant le code difficile à lire, maintenir et déboguer.

Une réorganisation complète du projet a été réalisée afin de modulariser le code, sans modifier les fonctionnalités existantes. Le programme est désormais structuré en modules spécialisés, chacun dédié à une responsabilité précise (gestion moteurs, communication, interprétation des commandes, interruptions).

Grâce à cette modularisation, le fichier `main.c` a été considérablement allégé (passage de 498 à 67 pages) et ne contient plus que les phases d'initialisation du système et la boucle principale, l'ensemble du fonctionnement reposant sur les interruptions.

Nouvelle architecture logicielle

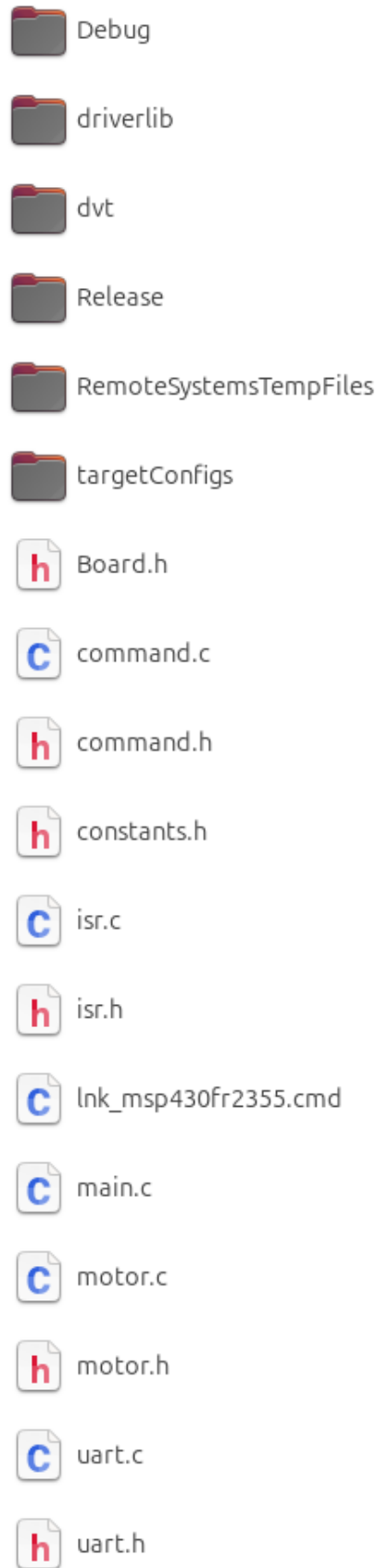


Figure 5: Architecture du code après intervention

La nouvelle architecture du projet repose sur une séparation claire des responsabilités :

- **motor.c / motor.h** : gestion bas niveau des moteurs (timers, GPIO, homing, conversions mécaniques) ;
- **command.c / command.h** : interprétation des commandes reçues depuis l'automate (position, vitesse, retour à l'origine) ;
- **uart.c / uart.h** : gestion de la communication série UART, buffers et interruptions associées ;
- **isr.c / isr.h** : centralisation des routines d'interruption (timers, UART, capteurs de fin de course).

Cette organisation permet un fonctionnement entièrement asynchrone, non bloquant et plus lisible du système.

Documentation de la communication automate / MSP430

Un travail de documentation a été réalisé afin de clarifier la communication entre l'automate Unitronics et la carte MSP430. Les échanges reposent sur des messages UART structurés, identifiés par un caractère initial permettant de déterminer la commande à exécuter (Position, Vitesse, Home).

Chaque message émis depuis l'automate correspond explicitement à une fonction du code MSP430. Cette correspondance est documentée afin de garantir une compréhension claire entre les écrans IHM, le Ladder et les fonctions embarquées.

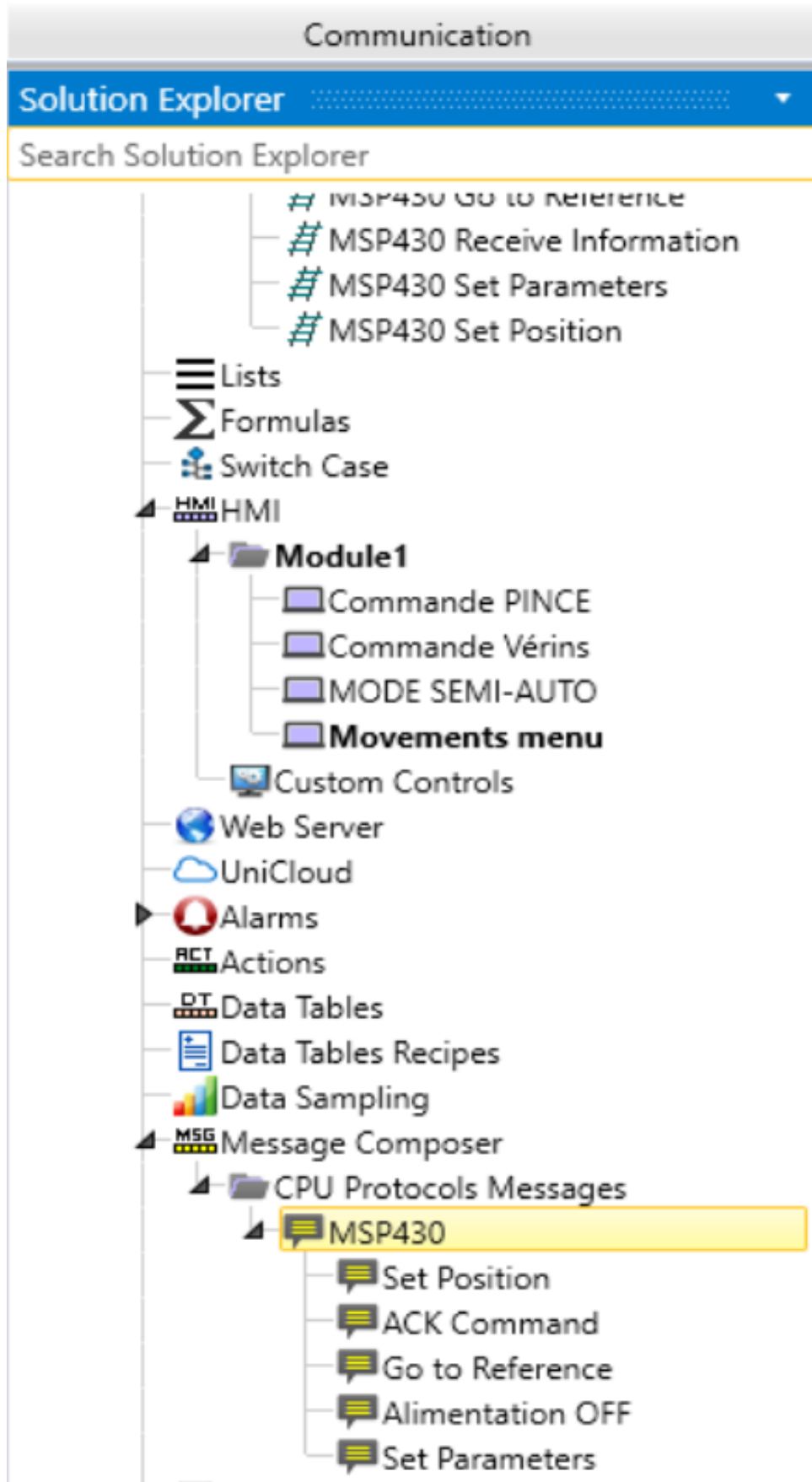


Figure 6: Organisation des messages dans le Solution Explorer

Correspondance IHM, Ladder et entrées/sorties

Une table de correspondance a été établie entre les éléments de l'IHM, les tags Ladder et les entrées/sorties physiques de l'automate et du microcontrôleur. Chaque action utilisateur (bouton, sélecteur, voyant) est ainsi reliée à une variable logique, elle-même associée à une sortie ou une entrée matérielle clairement identifiée.

Cette traçabilité permet de faciliter le débogage, la maintenance et l'évolution future du système.

Prise en main du logiciel UniLogic

Un guide pratique a été rédigé afin d'accompagner la prise en main du logiciel UniLogic. Il couvre la configuration matérielle de l'automate, la création d'alias pour les entrées/sorties, la liaison Ladder/IHM ainsi que les méthodes de vérification et de test.

Ce document permet à tout nouvel utilisateur de comprendre rapidement la structure du projet et de valider la cohérence entre matériel, programme Ladder et interface graphique.

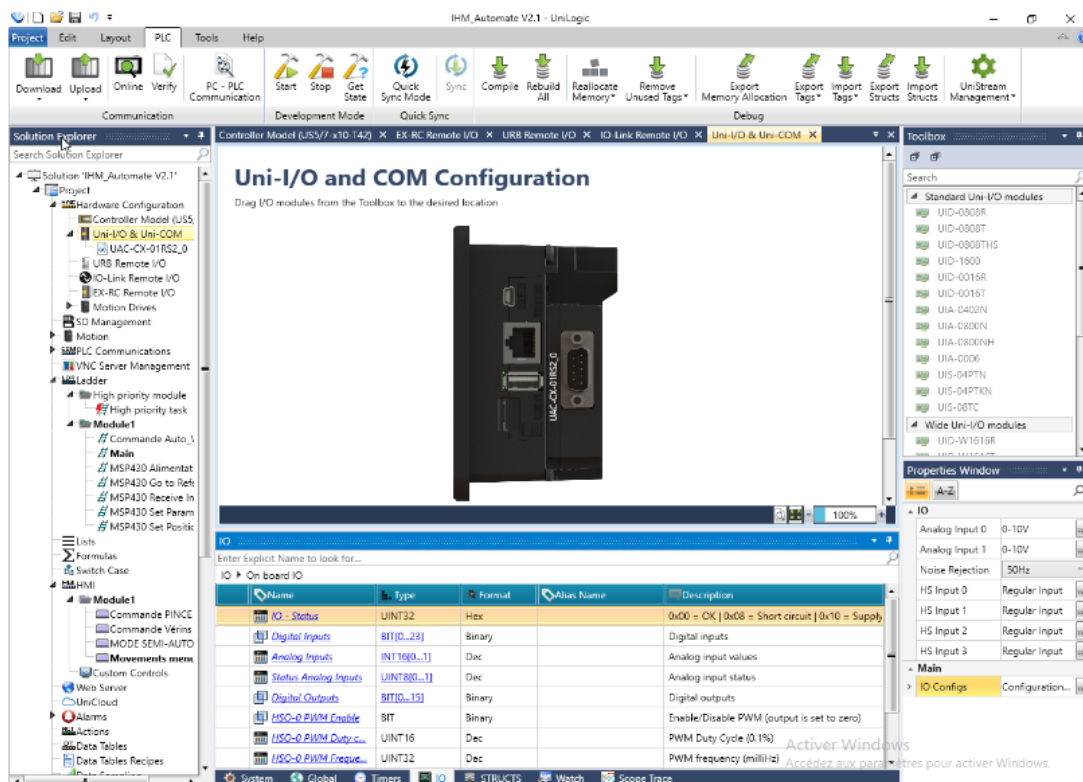


Figure 7: Interface générale du logiciel UniLogic

Les documents détaillant l'ensemble des travaux réalisés sur la partie informatique et systèmes embarqués sont fournis sous forme de fichiers PDF, téléchargeables depuis l'archive du projet. Ils comprennent :

- Modularisation code MSP430 et correction IHM.pdf : description détaillée de la correction de l'IHM et de la modularisation du code MSP430 ;

- **Prise en main du logiciel UniLogic.pdf** : guide de configuration matérielle, de création des alias et de liaison Ladder/IHM ;
- **Liaison automate avec code MSP430.pdf** : documentation de la communication entre l'automate Unitronics et la carte MSP430 ;
- **Modularisation code MSP430 et correction IHM.pdf** : tableau de correspondance entre les entrées/sorties physiques, le Ladder et les écrans IHM.

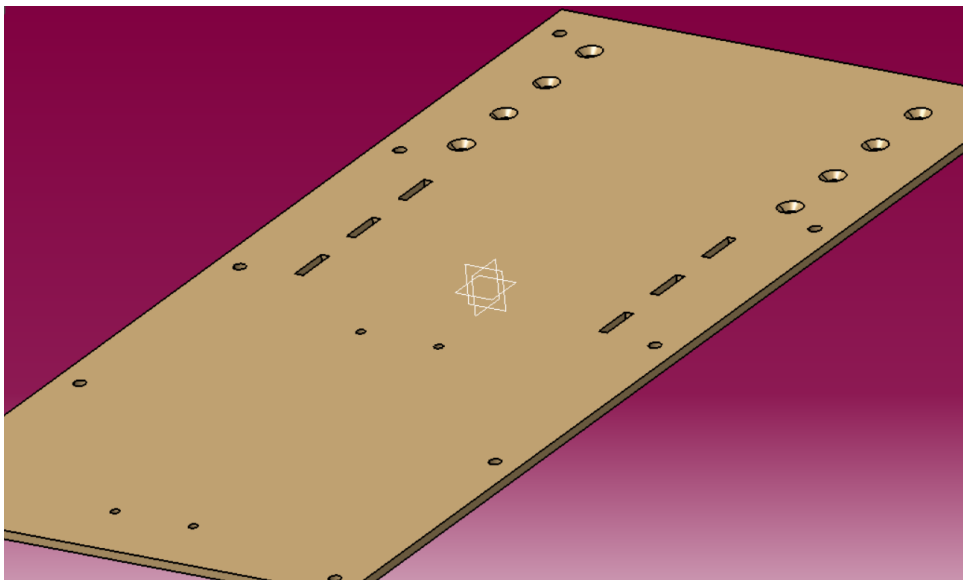
Ces documents constituent des supports complémentaires permettant d'approfondir les aspects techniques sans alourdir le présent rapport.

3. Modifications mécaniques

Ce semestre, des modifications mécaniques ont été réalisées afin de fiabiliser la fixation du réservoir sur la plaque support. La solution initialement prévue par collage présentait en effet plusieurs limites en usage réel, notamment en termes de tenue dans le temps, de démontabilité et de répétabilité d'assemblage. Les évolutions apportées visent donc à améliorer la robustesse et la cohérence mécanique de l'ensemble.

Modification de la plaque support

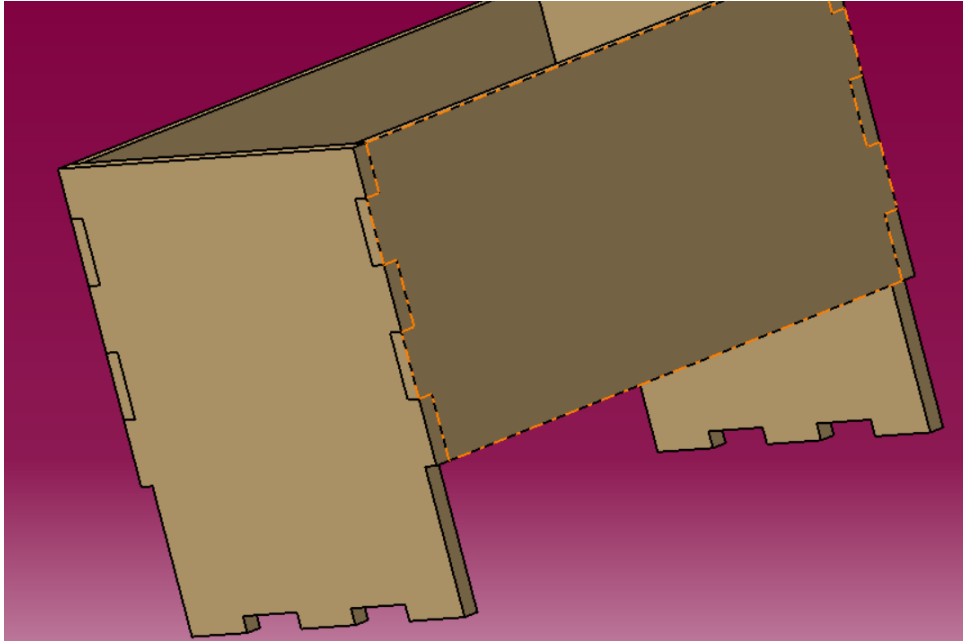
La plaque support a d'abord été modifiée par l'intégration de trois encoches et par une mise à jour de la géométrie globale, afin d'améliorer le positionnement des éléments et de faciliter l'assemblage. En parallèle, les entraxes des perçages ont été redéfinis et intégrés directement dans l'assemblage global, garantissant un montage cohérent et sans ajustements manuels.



Modification de le réservoir

Ensuite, le réservoir a été modifié afin de permettre une fixation correcte sur la plaque, sans recours au collage. L'objectif est d'obtenir un assemblage :

- plus rigide, le collage pouvant créer des jeux ou se décoller sous l'effet des efforts répétés;
- plus fiable dans le temps, avec une meilleure tenue face aux vibrations et aux manipulations.



Les nouveaux entraxes des vis ont été définis afin d'assurer une meilleure répartition des efforts entre le réservoir et la plaque. Cette disposition permet d'éviter la concentration des contraintes sur une zone unique, d'améliorer la stabilité de l'assemblage et de limiter les risques de déformation ou d'arrachement.

Mise à jour dans l'assemblage global

Enfin, l'ensemble modifié (plaque et réservoir) a été intégré dans l'assemblage global. Les vis ont été adaptées aux nouveaux perçages afin d'assurer la cohérence entre le modèle CAO et le montage réel prévu.

L'ensemble des modifications de conception mécanique réalisées en CAO est disponible dans le fichier `CAO_PER_pick&place_2025A-Modifications`.



3 Résultats obtenus

Partie tutoriels

L'ensemble des ressources pédagogiques est disponible dans le dossier **Tutoriel**. Il est conseillé de suivre la démarche suivante :

1. Télécharger l'application correspondante.
2. Lire attentivement le tutoriel fourni.
3. Regarder quelques vidéos explicatives (par exemple sur YouTube) concernant l'interface UniLogic.
4. Tester un premier exemple simple (une entrée et une sortie).
5. Réaliser ensuite un second exemple plus complet intégrant plusieurs entrées/sorties, l'IHM et les alarmes.

Ces étapes permettent d'acquérir une compréhension solide du fonctionnement de l'automate.

Points importants à maîtriser

Pour pouvoir travailler efficacement sur le projet, il est indispensable de maîtriser les points suivants :

- création d'un nouveau projet UniLogic ;
- choix de l'automate et ajout des composants nécessaires ;
- utilisation du Ladder (contacts, bobines, mémoires, etc.) ;
- conception de l'IHM (boutons, affichage, liaisons avec les variables) ;

- création et gestion des warnings et alarmes ;
- mise en place de la communication avec la MSP :
 - étude du code MSP existant (versions 2023P, 2024P, 2024A) ;
 - activation de la communication ;
 - définition des valeurs à transmettre ;
 - compréhension du format des messages échangés (envoi et réception dans le Ladder).

Partie informatique et systèmes embarqués

Les travaux réalisés sur la partie informatique et systèmes embarqués ont permis d'améliorer significativement la lisibilité, la structuration et la maintenabilité du système, sans modifier les fonctionnalités existantes de la carte microcontrôleur MSP430.

Résultats de l'amélioration de l'interface homme-machine

La correction apportée à l'interface homme-machine a permis de rendre l'affichage des positions X et Y cohérent avec les actions utilisateur. Les valeurs de position courante sont désormais mises à jour en temps réel lors de la modification des consignes dans l'IHM.

Cette amélioration renforce la compréhension du comportement du système par l'utilisateur et permet une interaction plus fiable et intuitive avec la commande des moteurs.

Résultats de la modularisation du code MSP430

La modularisation du code embarqué sur la carte MSP430 constitue l'un des résultats majeurs de ce travail. La séparation du programme en modules spécialisés a conduit aux améliorations suivantes :

- réduction significative de la taille du fichier `main.c` (de 498 pages à 67 pages) ;
- séparation claire des fonctionnalités au sein de modules dédiés ;
- amélioration notable de la lisibilité et de la compréhension du code ;
- facilitation de la maintenance, du débogage et des évolutions futures ;
- fonctionnement entièrement asynchrone reposant sur les interruptions ;
- communication UART plus robuste et non bloquante ;
- gestion des mouvements moteurs centralisée et sécurisée.

Cette réorganisation logicielle constitue une amélioration majeure en termes de clarté, de fiabilité et d'extensibilité du code.

Résultats de l'étude de la commande du système(GEMMA; Grafcet..)

Une structure hiérarchique du système a été définie, permettant d'avoir une vision globale et organisée du robot pick and place ainsi qu'une meilleure compréhension des interactions entre la partie opérative, la partie commande et les interfaces de communication.

Les modes de marche et d'arrêt du système ont été formalisés à l'aide du GEMMA, ce qui a permis de clarifier les différents états de fonctionnement, les phases d'arrêt ainsi que la gestion des situations de défaut et de sécurité.

Des GRAFCETs cohérents et structurés ont été conçus afin de décrire précisément le comportement séquentiel du système, les enchaînements d'actions et les conditions de transition entre les différentes étapes.

Les GRAFCETs réalisés constituent une base directement exploitable pour la programmation séquentielle de l'automate en langage LADDER, garantissant une logique de commande claire et compréhensible.

Résultats de la conception mécanique

Les modifications mécaniques réalisées en CAO ont permis d'obtenir un assemblage plus robuste et plus cohérent entre la plaque support et le réservoir. La fixation par collage a été supprimée au profit d'une fixation mécanique fiable et reproductible.

La nouvelle géométrie de la plaque, intégrant des encoches et des perçages redéfinis, assure un meilleur positionnement des éléments et facilite l'assemblage. Les nouveaux entraxes permettent une répartition plus homogène des efforts, limitant les risques de déformation ou d'arrachement.

L'ensemble modifié a été correctement intégré dans l'assemblage global, avec des vis adaptées aux nouveaux perçages, garantissant la conformité entre le modèle CAO et le montage réel prévu.

Résultats de la documentation technique

Le travail de documentation réalisé a permis de clarifier les échanges entre l'automate Unitronics et la carte MSP430. La correspondance entre les messages émis par l'automate et les fonctions exécutées côté microcontrôleur est désormais explicitement définie et compréhensible.

La documentation relative à la liaison automate/code, à la correspondance entre les entrées/sorties et les écrans de l'IHM, ainsi qu'à la prise en main du logiciel UniLogic, fournit un cadre structuré permettant à un nouvel utilisateur de comprendre, configurer et exploiter le système de manière autonome.

4 Objectifs restants et perspectives

Les travaux réalisés ont permis de structurer et de fiabiliser la base du système. Néanmoins, plusieurs objectifs restent à atteindre afin de poursuivre l'évolution du projet Pick and Place.

Les perspectives principales concernent tout d'abord la finalisation de la transformation des GRAFCET en programmes Ladder et leur implémentation complète dans l'environnement UniLogic. Cette étape permettra de renforcer la cohérence entre la modélisation fonctionnelle et la commande réelle du système.

Une évolution importante concerne la fonction *Home Position / Go to Reference*. Conformément aux recommandations pédagogiques, le calcul des positions devra être réalisé côté automate. Les positions X et Y seront enregistrées dynamiquement par le PLC à chaque déplacement, puis transmises au MSP430 afin d'effectuer un retour précis à la position d'origine réelle. Par ailleurs, des améliorations sont attendues sur la gestion des vitesses ainsi que sur l'intégration complète des modes de déplacement *absolu/relatif* et *simultané/alternatif*.

La mise en place d'une **chaîne porte-câbles** constitue également une perspective importante afin de sécuriser les faisceaux électriques et pneumatiques lors des déplacements, d'améliorer la fiabilité mécanique du système et de se rapprocher des standards industriels.

Les objectifs de la conception mécanique sont de vérifier la faisabilité des pièces modifiées pour le découpage laser et de valider l'assemblage des différents éléments de la boîte. Cette étape permet notamment de contrôler la compatibilité des perçages, des vis et des systèmes de fixation, afin d'assurer un montage cohérent, reproductible et conforme au montage réel prévu.

Enfin, une **sécurisation de l'automate par mot de passe** est envisagée afin de restreindre l'accès aux paramètres critiques, de prévenir toute modification non autorisée du programme ou de l'IHM, et de renforcer la sûreté globale du système dans un contexte pédagogique partagé.

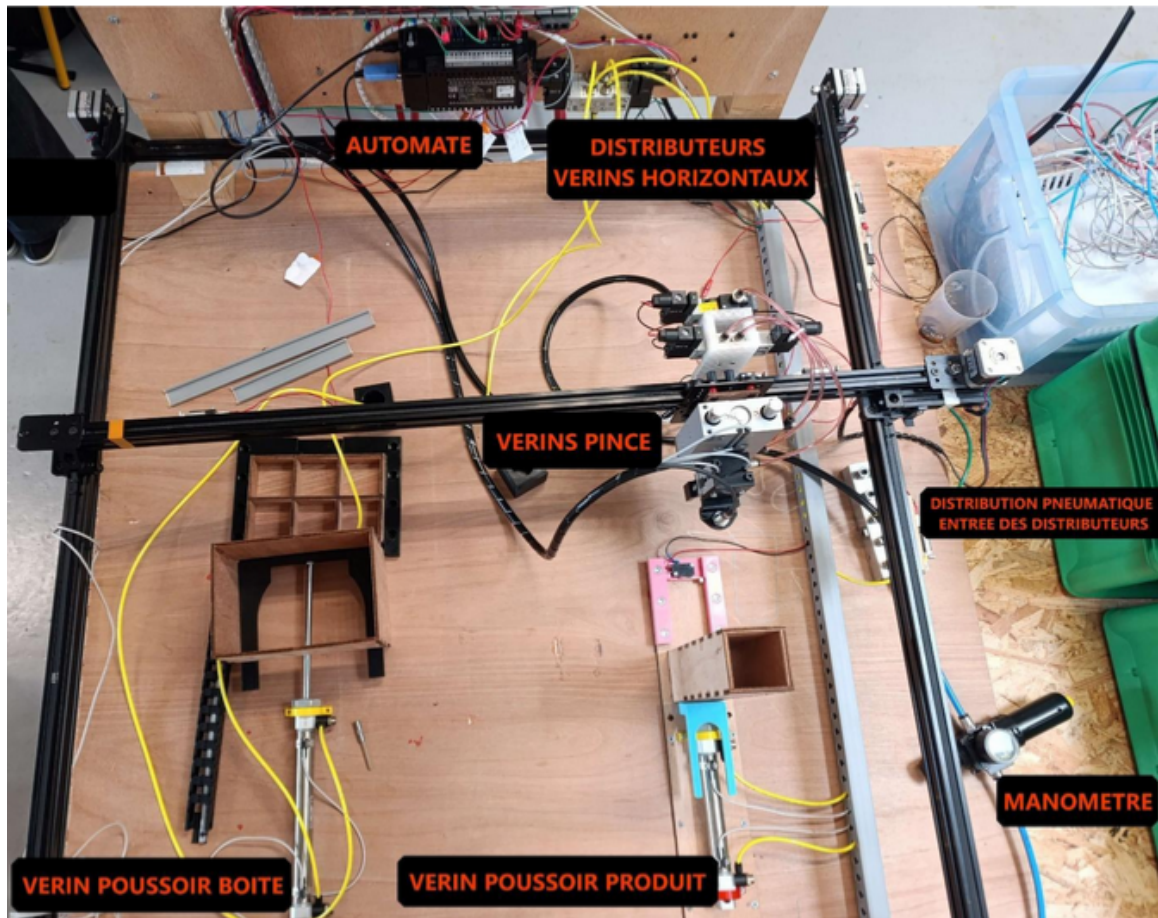
La poursuite du projet nécessitera enfin une collaboration étroite entre les personnes travaillant sur le Ladder côté automate et celles intervenant sur le code MSP430. Une compréhension globale du système (automate, MSP et communication associée) est indispensable pour assurer la cohérence et la fiabilité des évolutions futures.

Remarques finales

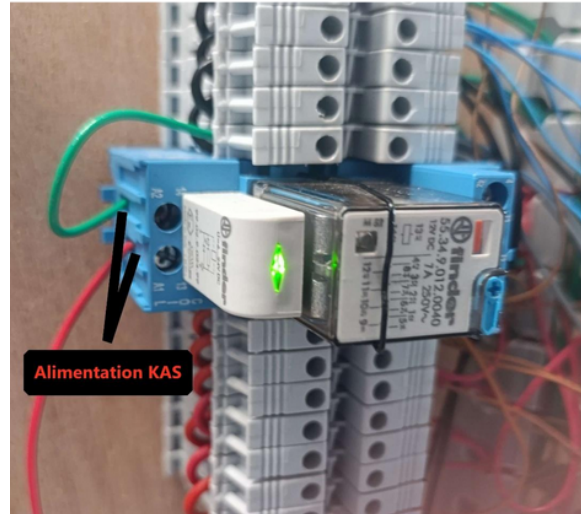
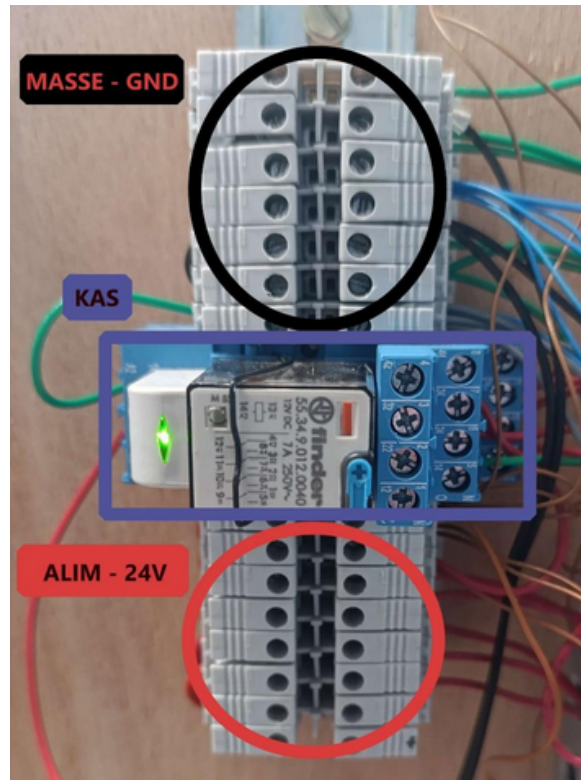
- l'automate dispose d'entrées et sorties digitales ;
- il est possible de créer des variables globales utilisables aussi bien dans le Ladder que dans l'IHM ;
- il est fortement conseillé de consulter des tutoriels, de tester des exemples simples et surtout d'analyser les versions précédentes avant de développer de nouvelles fonctionnalités.

A Annexes : Documentation technique

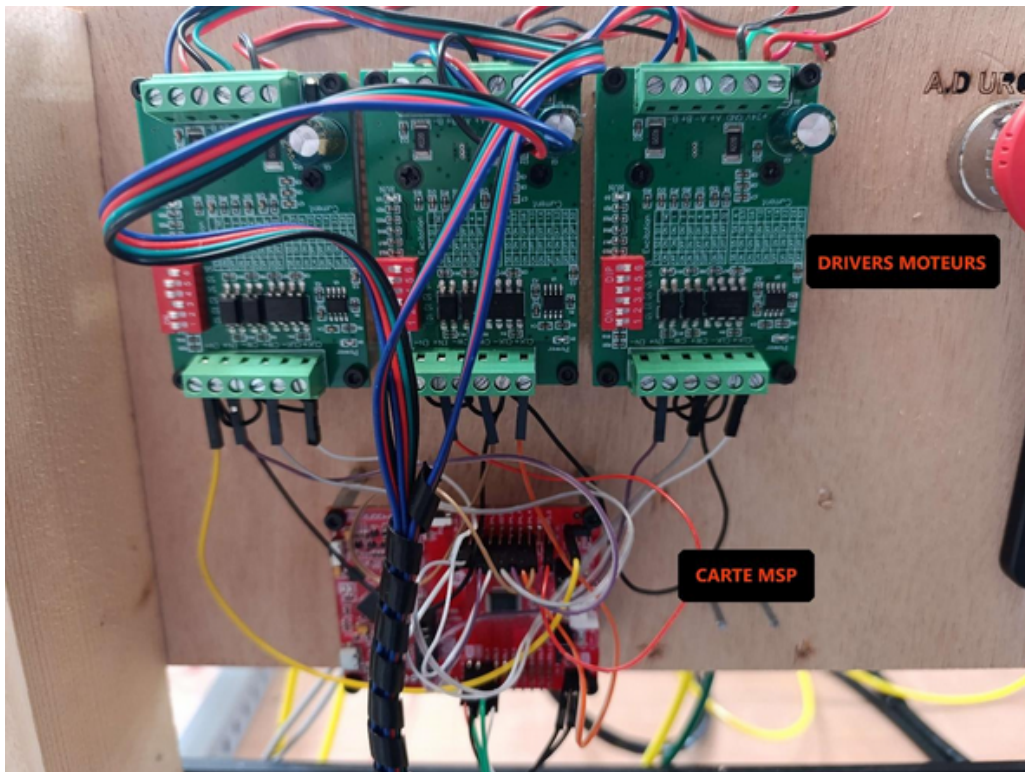
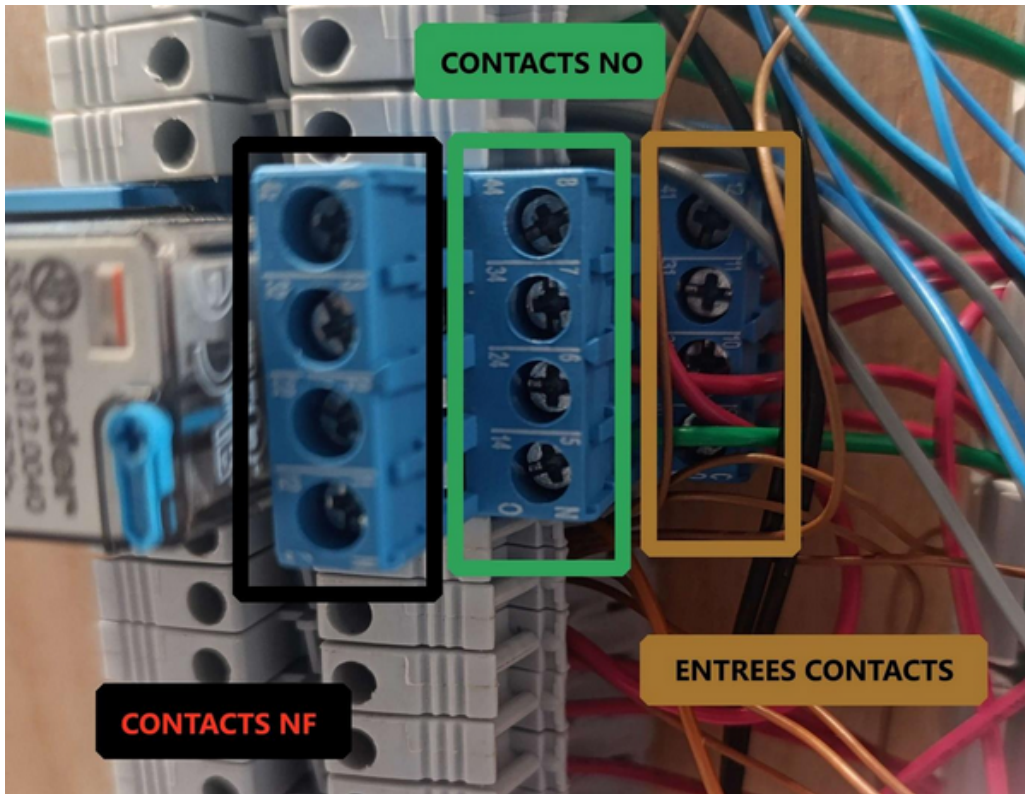
A.1 Annexe1 : Architecture globale du robot

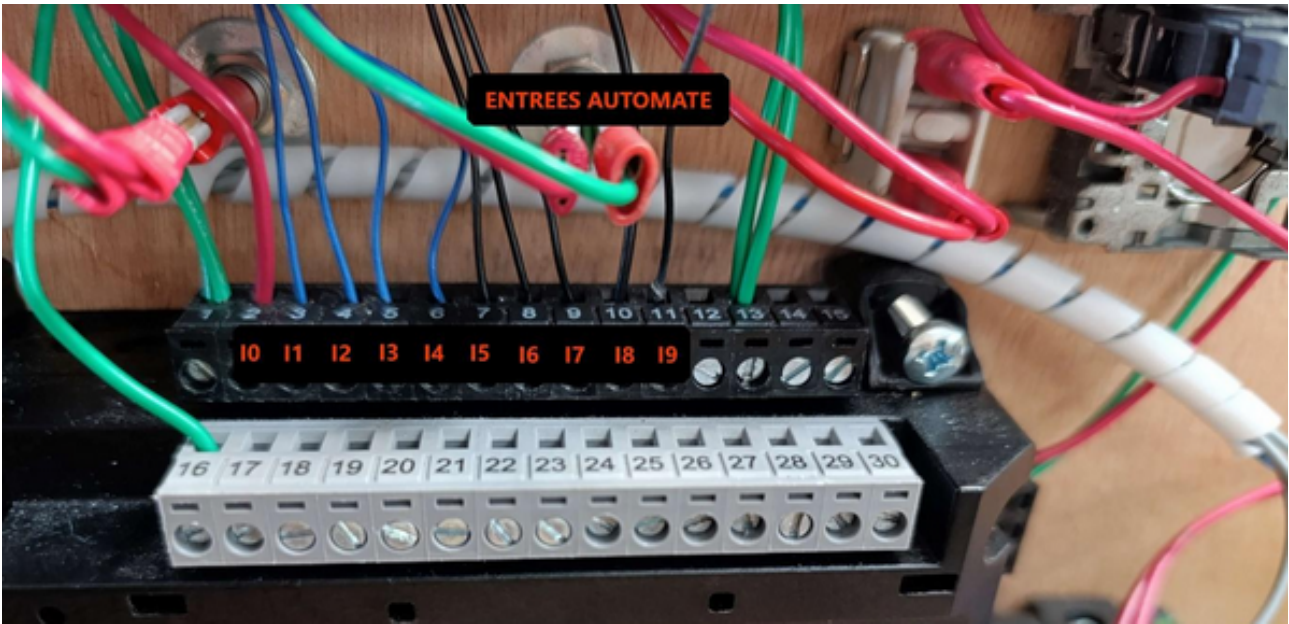


A.2 Annexe2 : Alimentation



A.3 Annexe3 : Entrées/sorties, drivers et carte





A.4 Annexe4 : Grafcet MVT moteurs

